

**ЭМГ-критерии в оценке надежности функционирования
локомоторного аппарата у больных, перенесших
травму грудного и поясничного отделов позвоночника
и спинного мозга**

А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева

***EMG-criteria in the assessment of the locomotor system
functioning reliability in patients got over injuries of the thoracic
and lumbar spine and spinal cord***

A.P. Shein, G.A. Krivorouchko, N.A. Choukhareva

Государственное учреждение науки

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган
(генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Цель исследования состояла в сопоставлении нейрофизиологических характеристик состояния моторной иннервации мышц нижних конечностей у больных с различным уровнем восстановления способности к самостоятельному передвижению. Комплексному нейрофизиологическому тестированию (использованы методы локальной, глобальной и стимуляционной электромиографии) подвергнуты в динамике 55 больных (41 — мужского и 14 — женского пола) в возрасте от 18 до 56 лет с закрытыми компрессионными переломами позвоночника в грудном, грудопоясничном и поясничном отделах, прошедших курс оперативного лечения в РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова. Сравнительная оценка ЭМГ-показателей производилась на основе распределения общей выборки больных на 3 группы по их способности к самостоятельному передвижению: 1 гр. — ходьба без дополнительных средств опоры; 2 гр. — ходьба с дополнительными средствами опоры; 3 — передвижение в инвалидной коляске. Выявленные взаимосвязи между ЭМГ-критериями уровня восстановления иннервационного статуса мышц и степенью восстановления способности больного к самостоятельному передвижению могут быть полезны для прогнозирования исходов лечения и целенаправленного использования современных реабилитационных технологий.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, электромиография, мышцы, нервы.

Comparison of neurophysiological characteristics of the state of the the lower limb muscular motor innervation in patients with original movement ability recovery of different levels was an object of the study. 55 patients (41 - males and 14 - females) at the age of 18-56 years with closed compression fractures of the thoracic, thoracolumbar and lumbar spine, who were surgically treated at RISC "RTO", were subjected in the dynamics to complex neurophysiological testing (the methods of local, global and stimulation electromyography were used). The comparative evaluation of EMG-indices was made on the basis of distribution of the patients' total selection in 3 groups by their ability of original movement: group 1 - walkig without additional supports; group 2 - walkig with additional supports; group 3 - wheeled-chair use for movement. The relations revealed between EMG-criteria of the level of innervation muscular status recovery and the recovery level of patient's ability for original movement can be useful for prediction of treatment outcomes and purposive use of current rehabilitative technologies.

Keywords: spine and spinal cord injury, electromyography, muscles, nerves.

Двигательные расстройства у больных, перенесших позвоночно-спинномозговую травму, проявляются в виде параличей или парезов, а также изменении тонуса мышц и сухожильных рефлексов [1, 4, 12, 15, 17, 18 и др.]. Выпадение чувствительности, в том числе мышечно-суставного чувства, приводит к расстройствам в системе «схема тела» [5, 11], при которых теряется ощущение тяжести конечностей и пространственного их положения. Больной не может стоять, нарушается функция ходьбы, становится невозможным самообслуживание. Нередко развивается хронический корешковый боле-

вой синдром, являющийся причиной акинезии или формирования патологических локомоторных стереотипов т.н. анталгического типа.

Существует три, ставшие традиционными, подхода к оценке уровня восстановления функций локомоторного аппарата у больных с последствиями травм позвоночника и спинного мозга: клинический, биомеханический и нейрофизиологический. Первый состоит в констатации неврологических расстройств, включающей, в частности, оценку способности пациента к самостоятельному передвижению [1, 4-6]. Второй реализован лишь в крупных реабилита-

ционных центрах [10] и основан на использовании анализаторов походки, позволяющих количественно оценить уровень функциональной недостаточности отдельных кинематических звеньев локомоторного аппарата пациентов. Использование методов клинической нейрофизиологии ориентировано на уточнение механизмов этой недостаточности, связанной с локальными или генерализованными нарушениями в системе контроля и исполнительных звеньев локомоторного аппарата, что имеет большое значение в объективизации неврологических находок, решении задач прогнозирования функциональных исходов лечения и выработке рекомендаций по применению специализированных

реабилитационных технологий [2, 3, 12]. Сохраняющаяся по сегодняшний день разобщенность методических подходов выражается в дефиците сведений, характеризующих соответствие локомоторного статуса пациента нейрофизиологическим критериям оценки функционального состояния отдельных мышц и мышечных групп нижних конечностей.

Цель настоящего исследования состояла в сопоставлении выборочных нейрофизиологических характеристик состояния моторной иннервации мышц нижних конечностей у больных с различным уровнем восстановления способности к самостоятельному передвижению в различные сроки после позвоночно-спинномозговой травмы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Работа основана на результатах комплексного электрофизиологического обследования 55 больных (41 – мужского и 14 – женского пола) в возрасте от 18 до 56 лет с закрытыми компрессионными переломами позвоночника в грудном, груднопоясничном и поясничном отделах, прошедших курс оперативного лечения в отделении вертебрологии и нейрохирургии РНЦ «ВТО».

При проведении нейрофизиологических обследований использован минимизированный по продолжительности выполнения диагностических процедур (не более 60 минут) и пакету информативных показателей базовый комплекс взаимодополняющих электронейромиографических методик [7], включающий, в частности, регистрацию и анализ М-ответов (форма раздражающих стимулов – прямоугольная, длительность – 1 мс, интенсивность – супрамаксимальная; способ отведения – униполярный; анализируемый показатель – амплитуда "от пика до пика") и глобальной ЭМГ. Функциональные пробы при регистрации глобальной ЭМГ – "полное расслабление" и "максимальное произвольное напряжение"; тип отведения – биполярный; диаметр электродов – 8 мм, межэлектродное расстояние – 10 мм; анализируемые параметры при использовании теста «максимальное произвольное напряжение» – частота следования колебаний и средняя амплитуда суммарной ЭМГ, программно рассчитываемые по фрагментам экранных копий MVA-теста. Во всех случаях тестировали левую и правую конечности. Объекты исследования – m.tibialis ant. (n. peroneus), m. gastrocnemius (c.l.) (n. tibialis), m. rectus fem.(n. femoralis). Аппаратурное обеспечение: 4-канальная цифровая система ЭМГ и ВП "Viking IV" ("Nicolet Biomedical", США). Обследования проводились до операции, через 1 месяц после операции, перед снятием аппарата транспедикулярной фиксации позвоночника (этот срок соответствовал завершению пребывания больного в стационаре) и в ближайшие (через 6 месяцев

после снятия аппарата) сроки после лечения.

Перед проведением сравнительного статистического анализа результатов обследования больные были разделены на три группы по результатам клинической оценки их способности к самостоятельному передвижению в ближайшие (через 6 месяцев) сроки после лечения.

Все больные были подвергнуты однотипному оперативному вмешательству: ламинэктомия поврежденного позвонка, передняя декомпрессия спинного мозга (СМ), наложение аппарата наружной транспедикулярной фиксации позвоночника.

К 1-й группе (20 человек, 10 – мужского и 10 женского пола, средний возраст – 26 лет) отнесены больные, способные передвигаться без дополнительных средств опоры. Уровень повреждения позвоночника – D5-L3 (грудной – 4, груднопоясничный – 2, поясничный – 14), продолжительность периода с момента травмы до операции – от 10 до 37 (22±2) дней. При клиническом обследовании при поступлении в РНЦ «ВТО» у 3 больных выявлены нарушения в двигательной сфере в виде легкого спастического парализа, у остальных 17 пациентов нарушения в двигательной сфере не выявлены. По данным миелографии с омнипаком отмечалась компрессия нервных структур спинного мозга (СМ) и корешков «конского хвоста» (КХ): у 14 пациентов – на 1/3, у 4 пациентов – на 1/2, у одного отмечалась практически полная деформация позвоночного канала. Интраоперационно у трех больных выявлена ликворная киста, у 7 пациентов – признаки ушиба СМ. Средняя продолжительность фиксации позвоночника в аппарате – 114±4 дней.

2-я группа (15 человек, 13 – мужского и 2 – женского пола, средний возраст – 37 лет) была представлена больными, самостоятельно передвигающимися с дополнительными средствами опоры. Уровень повреждения позвоночника – D12-L4 (грудной – 1, груднопоясничный – 3, поясничный – 11), продолжительность периода с

момента травмы до операции – от 9 до 35 (20 ± 2) дней. В дооперационном периоде по данным миелографии с омнипаком отмечалась компрессия нервных структур (СМ и корешков КХ): у 6 пациентов на 1/3, у 8 – на 1/2, у 1 пациента обнаружена практически полная деформация позвоночного канала. При неврологическом обследовании у 10 больных выявлены нарушения в двигательной сфере в виде лёгкого дистального спастического парапареза (1), спастического равномерного парапареза (1), вялого грубого парапареза (1), вялого дистального парапареза (2), вялого грубого дистального парапареза (2), вялого умеренного парапареза (1), вялого лёгкого парапареза (1) и вялого лёгкого монопарапареза (1). У остальных 5 человек нарушений в двигательной сфере не отмечалось. Интраоперационно у 3 больных выявлена ликворная киста, у 9 пациентов – ушиб СМ и у 1 – детрит СМ. Средняя продолжительность фиксации позвоночника в аппарате – 114 ± 6 дней.

К 3-й группе (20 человек, 18 мужского и 2 – женского пола, средний возраст – 38 лет) отнесены пациенты, передвигающиеся в инвалидной коляске. Уровень повреждения позвоночника – D7 – L3 (грудной – 10, грудопоясничные – 4, поясничные – 6), продолжительность периода с

момента травмы до операции – от 2 до 30 (15 ± 2) дней. По данным миелографии с омнипаком отмечалась компрессия нервных структур (СМ и корешков КХ): у 12 пациентов – на 1/3, у 8 пациентов на 1/2. При клиническом обследовании при поступлении у 6 больных выявлены нарушения в двигательной сфере в виде нижней вялой параплегии, 3 – лёгкого дистального спастического парапареза, у 2 – спастического равномерного парапареза, у 1 – вялого грубого парапареза, у 1 – вялого дистального парапареза, у 2 – вялого грубого дистального парапареза, у 2 – вялого умеренного парапареза, у 1 – вялого лёгкого парапареза, у 2 – вялого умеренного парапареза. Интраоперационно у 3 больных обнаружена ликворная киста, у 9 – признаки ушиба СМ, у 1 – детрит СМ. Средний срок фиксации позвоночника аппаратом составил 116 ± 4 дней.

В качестве контроля использованы данные 30 здоровых испытуемых в возрасте от 17 до 22 лет. Оценка достоверности различия средних производилась с помощью t-критерия Стьюдента а также (с учетом высокой индивидуальной вариативности анализируемых признаков и их производных) W- и T- критериев Вилкоксона для независимых и попарно сопряженных выборок показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении статистического анализа, состоящего в расчете средних арифметических (М) и их ошибок репрезентативности ($\pm m$), а также проверке выборочных совокупностей на нормальность распределения, выборки показателей левой и правой конечностей у здоровых испытуемых (контрольная группа) были объединены в силу отсутствия значимых билатеральных асимметрий по всему набору анализируемых признаков. Целесообразность объединения выборок электрофизиологических показателей мышц левой и правой ног у больных трех групп (в таблицах 1-3 значения $2n_{1,2,3}$ соответствуют количеству обследованных одноименных мышц) продиктована обстоятельством вовлечения в реакцию на травму структур, в совокупности обеспечивающих способность больного к самостоятельному передвижению. Тем не менее мы сочли целесообразным отразить возможную латерализацию патологических сдвигов в величинах коэффициентов асимметрии, рассчитываемых на основе выборочных пар сопряженных признаков по ранее использованной нами формуле [12]

$$K_a = 100\%(X_{\max} - X_{\min})/X_{\max},$$

где $X_{\max}$ – большее значение в паре признаков, а $X_{\min}$ – меньшее, и использовать K_a в качестве дополнительного критерия функциональной недостаточности нейромоторных структур

левой и правой нижних конечностей, интегрированных в единый локомоторный комплекс и характеризуемый (в норме) определенным уровнем минимизации моторных асимметрий. Следует иметь в виду, что расчет K_a теряет смысл в ситуациях, когда $X_{\max} = X_{\min} = 0$.

Из таблицы 1 видно, что у больных до операции число мышц, фоновая (ЭМГ покоя) биоэлектрическая активность которых характеризовалась присутствием потенциалов фасцикуляций (ПФК) и вспышек спастической активности (СПА), составило в 1-й группе – 9 (7,5% от общего числа обследованных в данный срок разноименных мышц обеих конечностей), во 2-й – 8 (8,9%), в 3-й – 12 (10,0%). Через 1 месяц после операции эти значения уменьшились у больных 1-й и 3-й групп соответственно до 7 (5,8%) и 9 (8,8%) и увеличились у больных 2-й группы до 14 (16,7%). Перед снятием аппарата эти значения уменьшились во 2-й группе до 8 (9,5%), а в 1-й и 3-й увеличились до 23 (20,2%) и 12 (13,3%), при этом "фоновая" ЭМГ типа СПА обнаружена лишь в отведениях от мышц голени. В ближайшие сроки после лечения спонтанная активность зарегистрирована у больных 1-й группы в 2 (2,1%) случаях, 2-й – в 5 (7,5%), 3-й – в 11 (15,4%).

Таблица 1

Частота выявления потенциалов фасцикуляций (ПФК) и спастической активности (СПА)

Мышцы	Показатели	Группы больных	Сроки обследования			
			До операции (2n ₁ =40; 2n ₂ =30; 2n ₃ =40)	Через 1 мес. после операции (2n ₁ =40; 2n ₂ =28; 2n ₃ =34)	Перед снятием аппарата (2n ₁ =38; 2n ₂ =28; 2n ₃ =30)	Через 6 мес. после лечения (2n ₁ =32; 2n ₂ =22; 2n ₃ =32)
m.Tibialis ant.	ПФК	1	3 (7,5%)	3 (7,5%)	9 (23,7%)	2 (6,2%)
		2	3 (10,0%)	6 (21,4%)	3 (10,7%)	1 (4,5%)
		3	2 (5,0%)	4 (11,8%)	4 (13,3%)	6 (18,7%)
	СПА	1	-	-	-	-
		2	-	1 (3,6%)	-	-
		3	2 (5,0%)	-	1 (3,3%)	-
m.Gastrocnemius (c.l.)	ПФК	1	3 (7,5%)	3 (7,5%)	9 (23,7%)	-
		2	3 (10,0%)	4 (14,3%)	3 (10,7%)	4 (18,2%)
		3	6 (15,0%)	-	4 (13,3%)	4 (12,5%)
	СПА	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	-	1 (3,3%)	-
m.Rectus fem.	ПФК	1	3 (7,5%)	1 (2,5%)	5 (13,2%)	-
		2	2 (6,7%)	3 (10,7%)	2 (7,1%)	-
		3	2 (5,0%)	1 (2,9%)	2 (6,7%)	1 (3,1%)
	СПА	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-

Примечание: 2n₁, 2n₂, 2n₃ - число обследованных одноименных мышц у больных 1, 2 и 3 групп; в скобках указан процент от соответствующего значения 2n.

Таблица 2

Динамика показателей суммарной ЭМГ (СА и ЧСК) и их K_a (M±m)

Мышцы	Показатели	Группы больных	Сроки обследования больных			
			До операции (2n ₁ =40; 2n ₂ =30; 2n ₃ =40)	Через 1 мес. после операции (2n ₁ =40; 2n ₂ =28; 2n ₃ =34)	Перед снятием аппарата (2n ₁ =38; 2n ₂ =28; 2n ₃ =30)	Через 6 мес. после операции (2n ₁ =32; 2n ₂ =22; 2n ₃ =32)
m.Tibial ant.	СА (мВ)	1	0,98±0,16	0,83±0,12	1,11±0,12 к	0,98±0,10 к
		2	0,37±0,12 пк	0,31±0,10 к	0,49 ± 0,17 пк	0,42±0,15 п
		3	0,25±0,13 пк	0,23±0,11 пк	0,23±0,14 пк	0,20±0,12 пк
	K _a СА (%)	1	43,2±7,0 к	32,9±5,2 к	27,9 ± 9,2	22,1±3,1
		2	41,1±10,9 к	46,2±10,3 пк	51,5±9,9 к	44,1±14,6
		3	63,5±13,3 пк	57,3±15,7 к	57,6±19,3 к	61,5±16,4 пк
	ЧСК (к/с)	1	230±10 к	224±9 к	223±10 к	242±11 к
		2	174±18 пк	154±22 пк	190±22 к	201±28 к
		3	184±34 к	165±45 к	196±66	175±56 к
	K _a ЧСК (%)	1	18,9±3,4	18,6±3,4	18,5±3,2	21,3±3,6
		2	29,1±10,6	45,5±12,5	45,9±14,1	30,6±12,3
		3	34,4±21,9	50,7±20,5	53,1±27,1	52,2±6,8
m.Gast-rocnemius (c.l.)	СА (мВ)	1	0,57±0,11	0,55±0,87	0,66±0,11 к	0,51±0,08
		2	0,23±0,09 п	0,11±0,03 пк	0,23±0,07 п	0,24±0,07 п
		3	0,14±0,08 пк	0,19±0,11 п	0,17±0,10 пк	0,11±0,07 пк
	K _a СА (%)	1	49,6±6,9 к	39,3±6,9	34,3±4,5	52,5±6,9 к
		2	59,1±9,2 к	60,4±10,2 к	39,5±5,1 к	37,4±7,3
		3	31,8±17,3 к	57,2±19,6	67,2±13,0 пк	64,7±16,5 к
	ЧСК (к/с)	1	234±16	223±9 к	223±13	243±18 к
		2	203±16 к	183±20 к	223±11	244±21 к
		3	203 ±37 к	245±30 к	165±50	167±47
	K _a ЧСК (%)	1	23,9±7,3	17,9±2,6	31,5±13,3	17,3±3,7
		2	29,2±9,7	26,1±10,3	18,6±3,8	11,5±3,7
		3	21,1±6,6	23,0±8,0	63,6±22,3	43,4±28,3
m.Rectus fem.	СА (мВ)	1	0,59±0,09 к	0,51±0,06	0,86±0,15 к	0,67±0,08 к
		2	0,26±0,07 пк	0,36±0,08 к	0,57±0,09	0,50±0,11 п
		3	0,13±0,06 пк	0,20±0,09 пк	0,26±0,12 п	0,25±0,11 п
	K _a СА (%)	1	46,9±6,5 к	23,9±6,9	26,5±3,6	27,4±3,6
		2	35,7±7,9 пк	50,5±7,5 пк	44,3±8,1 пк	31,1±3,4 к
		3	77,8±11,2 пк	69,3±14,7 пк	72,5±13,1 п	56,6±19,1
	ЧСК (к/с)	1	207±12 к	178±13 к	172±8 к	207±9
		2	164±15 пк	139±14 к	160±11 к	179±11 пк
		3	122±31 пк	117±19 пк	146±26 к	140±21 пк
	K _a ЧСК (%)	1	19,9±3,9	18,6±2,5	15,8±2,6	14,6±2,2
		2	34,8±7,5 п	26,6±5,9	16,1±3,2	14,1±2,0
		3	67,9±19,7 п	59,1±12,6 п	45,5±15,7	45,7±22,2

Примечание: 2n₁, 2n₂ и 2n₃ – число обследованных одноименных мышц у больных 1-й, 2-й и 3-й групп; буквами «п» и «к» маркированы показатели, отличие которых от соответствующих величин первой группы больных и контрольной выборки испытуемых было статистически значимым (P<0,05).

Таблица 3

Динамика амплитуды (А) и коэффициентов асимметрии (К_а) М-ответов (М±m)

Мышцы	Показатели	Группы больных	Сроки обследования больных			
			До операции (2n ₁ =40; 2n ₂ =28; 2n ₃ =34)	Через 1 мес. после операции (2n ₁ =40; 2n ₂ =28; 2n ₃ =34)	Перед снятием аппарата (2n ₁ =38; 2n ₂ =28; 2n ₃ =34)	Через 6 мес. после лечения (2n ₁ =32; 2n ₂ =22; 2n ₃ =32)
m.Rectus fem.	А (мВ)	1	15,16±1,20 к	14,52±1,03 к	15,52±1,49 к	18,48±0,88 к
		2	9,16±1,80 пк	7,04±1,98 пк	11,33±1,87 к	11,89±2,27 пк
		3	7,09±1,49 пк	5,84±1,69 пк	6,41±1,97 пк	7,82±1,86 пк
	К _а (%)	1	19,6±2,9 к	18,5±3,0 к	14,5±2,9	12,6±3,2 к
		2	29,4±4,8 к	37,8±6,7 пк	27,3±6,3 к	33,3±6,6 пк
		3	37,4±8,7 к	53,2±9,2 пк	46,2±11,9 пк	58,4±9,7 пк
m.Tibialis ant.	А (мВ)	1	8,91±0,58	7,49±0,74 к	9,42±0,93	7,82±0,53 пк
		2	4,98±1,22 пк	2,11±0,63 пк	3,91±1,16 к	3,97±1,22 пк
		3	7,11±1,59 к	4,64±1,04 пк	3,82±1,06 пк	3,29±0,79 пк
	К _а (%)	1	29,4±6,2 к	31,6±6,6 к	20,9±4,8	23,1±4,7
		2	39,0±6,9 к	52,0±11,5 к	42,6±12,4 к	45,9±12,5 к
		3	21,8±6,3 п	40,4±9,2 пк	48,4±10,1 пк	34,9±7,5 к
m.Gastrocnemius (с. l.)	А (мВ)	1	21,06±1,62 к	19,75±2,21 к	20,09±2,32 к	20,78±2,04 к
		2	10,85±2,58 пк	5,04±1,84 пк	8,90±2,86 пк	7,78±1,95 пк
		3	18,84±2,96 пк	10,93±2,22 пк	8,28±1,88 пк	8,86±2,26 к
	К _а (%)	1	27,6±4,0 к	19,3±4,2 к	24,0±5,1	21,1±4,8
		2	29,5±7,6 п	61,1±7,3 пк	44,8±6,9 пк	46,9±10,5 пк
		3	20,2±3,2	27,3±3,5 к	37,3±8,3 к	40,9±10,1 к

Примечания: обозначения те же, что и в таблице 2.

Количественные показатели суммарной ЭМГ – средняя амплитуда (СА), частота следования колебаний (ЧСК), а также коэффициенты асимметрии (К_а) указанных показателей представлены в таблице 2. Рассчитанные по объединенной выборке (левая + правая) средние значения СА и ЧСК у испытуемых контрольной группы составили в отведениях от различных мышц соответственно: m. tibialis ant. – 0,73±0,03 мВ, 321±5 кол./с; m. gastrocnemius (с. l.) – 0,48±0,02 мВ, 314±7 кол./с; m. rectus fem. – 0,73±0,04 мВ, 254±7 кол./с. Значения К_а, рассчитанные по показателю СА у здоровых испытуемых, в отведениях от разных мышц отличаются незначительно и составляют в среднем 21,1±2,9%.

До операции СА составила в среднем (по отведениям от трех мышц обеих конечностей) у больных 1-й группы по сравнению с данными контрольной выборки 111,3%. При этом К_а СА превышал контрольные значения в 2,2 раза. ЧСК была снижена в среднем на 24,0% от контрольной величины. У больных 2-й группы СА была снижена в среднем на 55,3% по сравнению с данными контрольной группы, а К_а СА увеличен соответственно в 2,1 раза. ЧСК оказалась ниже контрольных величин в среднем на 38,7%. У больных 3-й группы СА была снижена в среднем на 72,9% по сравнению с данными контрольной группы, К_а СА увеличен соответственно в 2,9 раза, а ЧСК снижена в среднем на 42,3%.

Через 1 месяц после операции показатели СА и ЧСК составили в среднем у больных 1-й группы 99,4% и 70,2% от контрольных величин, у больных 2-й группы – 38,3% и 53,7%, у больных 3-й группы – 32,8% и 58,5%. Значения К_а СА у больных 1-й группы превышали контроль-

ный уровень в 1,5 раза, 2-й группы – в 2,2 раза, 3-й группы – в 2,9 раза.

Перед снятием аппарата СА и ЧСК составляли в среднем у больных 1-й группы 135,8% и 69,4% от контрольных величин, у больных 2-й группы – 64,5% и 64,4%, у больных 3-й группы – 34,2% и 57,0%. Значение К_а СА превышало контрольный уровень в 1-й группе в среднем в 1,4 раза, во второй – в 2,1 раза, в третьей – в 3,2 раза.

В ближайшие (спустя 6 месяцев) сроки после лечения СА и ЧСК у больных 1-й группы составляли в среднем 110,8% и 78,1% от контрольных величин, у больных 2-й группы – 58,7% и 70,3%; у больных 3-й группы – 30,3% и 54,2%. К_а СА оставался выше контрольных величин у больных 1-й группы в среднем в 1,6 раза, 2-й группы – в 1,8 раза, 3-й группы – в 3,0 раза.

В таблице 3 приведены амплитуды М-ответов, усредненные по мышцам, срокам обследования и группам больных. До лечения у больных 1-й группы указанный показатель, выраженный в процентах от контрольных величин (здоровые испытуемые), составлял в среднем по отведениям от трех разноименных мышц правой и левой конечностей 83,8%, во 2-й группе – 46,9% и в 3-й группе – 61,3%. Через 1 месяц после операции эта величина снизилась у больных всех групп соответственно до 75,4%, 25,2 и 40,5%. Перед снятием аппарата она несколько возросла у больных 1-й и 2-й групп (до 85,5% и 43,6% соответственно) и снизилась у 3 группы (35,0%). Через 6 месяцев выраженного изменения анализируемого показателя у больных всех трех групп не выявлено (83,9%; 43,5% и 35,5% соответственно).

Рассчитанные по совокупности использованных отведений средние значения коэффициента асимметрии амплитуд М-ответов в соответствии со сроками обследования (до лечения, через 1 месяц после операции, перед снятием аппарата и через 6 месяцев после операции) у больных 1-й группы составили соответственно 25,5%, 23,1%, 19,1% и 19,9%; у больных 2-й группы – 32,6%, 50,3%, 38,2% и 42,0%; у больных 3-й группы – 26,5%, 40,3%, 44,0% и 44,7% (контрольная выборка – $13,0 \pm 1,8\%$).

Рассматривая амплитуду М-ответа (А) и рассчитанную указанным способом среднюю амплитуду суммарной ЭМГ (СА) одной и той же мышцы в качестве двух взаимодополняющих характеристик трехкомпонентного структурно-функционального «модуля» моторного аппарата («моторная кора – спинальные мотонейроны – мышца»), мы сочли целесообразным объединить их в одном показателе – цереброспинальном индексе (ЦСИ = $K \cdot CA/A$, где K – масштабный коэффициент, равный «100»), косвенно характеризующем предел возможностей пирамидных структур в произвольной активации максимального числа двигательных единиц (ДЕ) до уровня предельно возможной частоты их разрядов [13]. Таким образом, в ЦСИ учитывается минимально возможная произвольная активность, характеризующаяся всем многообразием структурных типов суммарной ЭМГ и определяемая степенью сохранности кортикоспинальных трактов СМ, и текущий структурно-функциональный статус мышечной части ДЕ. Последнее отражено в соответствующих значениях амплитуд М-ответов этих же мышц, харак-

теризуемых наличием в той или иной степени выраженных гипо- и атрофии части мышечных волокон. Подобный способ «нормализации» нестационарных форм биоэлектрической активности мышц использован в различных вариантах другими исследователями, в частности, при анализе рефлекторных ЭМГ-паттернов мышц, возникающих в ответ на пассивное изменение взаимного положения звеньев конечности в пространстве [16], и рекомендован в автоматизированном варианте в качестве дополнения к пакету прикладных программ современных диагностических ЭМГ-систем. [14]. Контрольные значения ЦСИ *m.rectus fem.*, *m.tibialis ant.*, *m.gastrocnemius* (с.л.) составили соответственно: $3,6 \pm 0,2$; $9,7 \pm 0,3$; $1,6 \pm 0,1$.

Динамика ЦСИ отражена в таблице 4. Усредненные по трем отведениям значения ЦСИ, выраженные в процентах от контрольных величин, у больных 1-й, 2-й и 3-й групп до лечения составили соответственно 148,3%, 98,7% и 124,0%; через 1 месяц после операции – 133,9%, 262,6% и 50,6%; перед снятием аппарата – 165,6%, 186,4% и 48,0%; в срок «через 6 месяцев после лечения» – 144,4%, 228,6% и 131,4%. Средние величины коэффициентов асимметрии ЦСИ составили соответственно 39,7%, 45,9% и 59,2%; через 1 месяц после операции – 38,3%, 41,2% и 68,5%; перед снятием аппарата – 30,8%, 40,6% и 71,2%; в срок «через 6 месяцев после лечения» – 32,2%, 42,8% и 78,4%. Контрольное значение усредненного по совокупности использованных отведений коэффициента асимметрии ЦСИ – $24,0 \pm 3,4\%$.

Таблица 4

Динамика цереброспинальных индексов (ЦСИ) и их K_a

М Мышцы		Группы больных	Сроки обследования больных			
			До операции ($2n_1=40$; $2n_2=28$; $2n_3=34$)	Через 1 мес. после операции ($2n_1=40$; $2n_2=28$; $2n_3=34$)	Перед снятием аппарата ($2n_1=38$; $2n_2=28$; $2n_3=34$)	Через 6 мес. после лечения ($2n_1=32$; $2n_2=22$; $2n_3=32$)
<i>m.m.rectus fem.</i>	V, M±m	1	$4,3 \pm 1,1$	$4,3 \pm 0,7$ (100,0%)	$4,7 \pm 0,6$ (109,3%)	$3,7 \pm 0,4$ к (86,0%)
		2	$2,5 \pm 0,6$	$9,3 \pm 2,8$ к (372,0%)	$9,5 \pm 3,4$ (380,0%)	$8,0 \pm 2,8$ (321,2%)
		3	$5,3 \pm 0,4$ пк	$1,7 \pm 0,6$ пк (32,1%)	$3,5 \pm 1,5$ пк (66,0%)	$6,0 \pm 3,4$ п (113,2%)
	K_a (%)	1	$36,9 \pm 6,0$	$40,4 \pm 4,3$ к	$24,7 \pm 4,6$ к	$26,7 \pm 4,6$
		2	$40,6 \pm 9,3$ п	$34,9 \pm 8,0$ п	$37,6 \pm 8,7$	$30,3 \pm 7,7$ п
		3	$55,0 \pm 17,0$	$72,1 \pm 11,5$ пк	$56,8 \pm 15,0$ к	$72,3 \pm 19,0$ пк
<i>m.tibialis ant.</i>	V, M±m	1	$14,3 \pm 1,8$ к	$12,2 \pm 1,1$ (92,3%)	$14,1 \pm 1,9$ к (107,7%)	$13,5 \pm 1,3$ к (92,3%)
		2	$4,7 \pm 1,5$ пк	$15,1 \pm 3,6$ п (319,1%)	$7,6 \pm 2,5$ пк (161,7%)	$7,9 \pm 2,7$ (168,1%)
		3	$3,9 \pm 1,7$ пк	$3,8 \pm 2,0$ пк (97,4%)	$3,5 \pm 1,5$ пк (89,7%)	$6,0 \pm 3,4$ (153,8%)
	K_a (%)	1	$36,0 \pm 6,7$ к	$33,5 \pm 6,7$	$36,3 \pm 6,3$ к	$32,3 \pm 6,5$
		2	$46,2 \pm 9,1$ пк	$44,6 \pm 9,5$ пк	$42,9 \pm 11,1$ п	$48,3 \pm 13,9$
		3	$67,2 \pm 13,6$ пк	$73,5 \pm 17,5$ пк	$56,9 \pm 15,2$	$72,8 \pm 19,1$ к
<i>H m.gastrocnemius</i> (с.л.)	V, M±m	1	$3,0 \pm 0,6$ к	$2,5 \pm 0,4$ к (82,9%)	$3,5 \pm 0,5$ к (115,9%)	$3,1 \pm 0,7$ к (102,6%)
		2	$2,7 \pm 0,8$ пк	$5,9 \pm 1,4$ пк (218,5%)	$3,4 \pm 0,8$ к (125,9%)	$6,0 \pm 2,9$ (222,2%)
		3	$2,9 \pm 2,3$	$4,6 \pm 0,4$ пк (35,5%)	$0,2 \pm 0,1$ пк (5,5%)	$2,7 \pm 1,6$ к (89,7%)
	K_a (%)	1	$46,6 \pm 7,31$ к	$41,0 \pm 6,3$ к	$31,3 \pm 5,3$ к	$37,7 \pm 6,6$
		2	$51,1 \pm 9,6$ к	$44,2 \pm 12,3$	$41,2 \pm 8,1$	$49,8 \pm 9,6$ к
		3	$55,4 \pm 17,9$	$59,8 \pm 19,4$	$100,0 \pm 0,0$ пк	$33,2 \pm 11,5$ к

Примечания: в скобках показана величина цереброспинального индекса, выраженная в процентах от исходной (дооперационной) величины ЦСИ.

Из обобщенных результатов представленного в настоящей работе фрагмента проведенных исследований (рис. 1) следует, что усредненные по числу отведений ЭМГ-характеристики мышц нижних конечностей и соответствующие им коэффициенты асимметрии у больных 1-й группы существенно отличаются от аналогичных показателей больных 2-й и 3-й групп. В частности, к моменту завершения лечения в стационаре у больных, способных к самостоятельному передвижению без дополнительных средств опоры, отмечена наименьшая встречаемость спонтанных форм биоэлектрической активности. Суммарная ЭМГ, зарегистрированная в условиях выполнения пробы «максимальное произвольное напряжение», по своей структуре и амплитудно-частотным характеристикам приближается к ЭМГ соответствующих мышц здоровых испытуемых. Средние значения М-ответов свидетельствуют об отсутствии грубых изменений в сегментарных структурах спинного мозга, корешках «конского хвоста», периферических нервах и, соответственно, в мышцах. У больных 1-й группы отмечена наименее выраженная асимметрия ЭМГ-показателей и наиболее выраженная их положительная динамика, что, по-видимому, обусловлено, с одной стороны, относительно легкой степенью исходного травматического поражения соответствующих сегментов СМ и корешков «конского хвоста», с другой – своевременной декомпрессией корешково-спинномозговых структур и созданием оптимальных условий для восстановления гемоди- и ликвородинамики, что достигается за счет применения новой, разработанной в РНЦ «ВТО», технологии оперативного вмешательства [8].

Что касается различий между больными 2-й и 3-й групп, то в общей массе сравниваемых ЭМГ-признаков они выглядят не столь существенными, чем в сравнении с данными первой группы больных. Тем не менее обращают на себя внимание различия, касающиеся показателя способности больных к произвольной активации тестируемых мышц бедра и голени (СА), а также характер динамики практически во всем спектре анализируемых показателей. В сравнении с данными 2-й и особенно 1-й группы, динамика ЭМГ-показателей у больных 3-й группы может быть оценена либо как нейтральная (отсутствие изменений), либо как отрицательная. Данные компьютерной томографии, миелографии и результаты интраоперационной ревизии состояния корешково-спинномозговых структур на уровне поврежденных позвонков свидетельствуют о наличии у больных 3-й группы значительно более выраженных (по сравнению с данными 2-й и 3-й групп больных) посттравматиче-

ских изменений, повлекших за собой необратимые или слабо обратимые нарушения способности к самостоятельному передвижению.

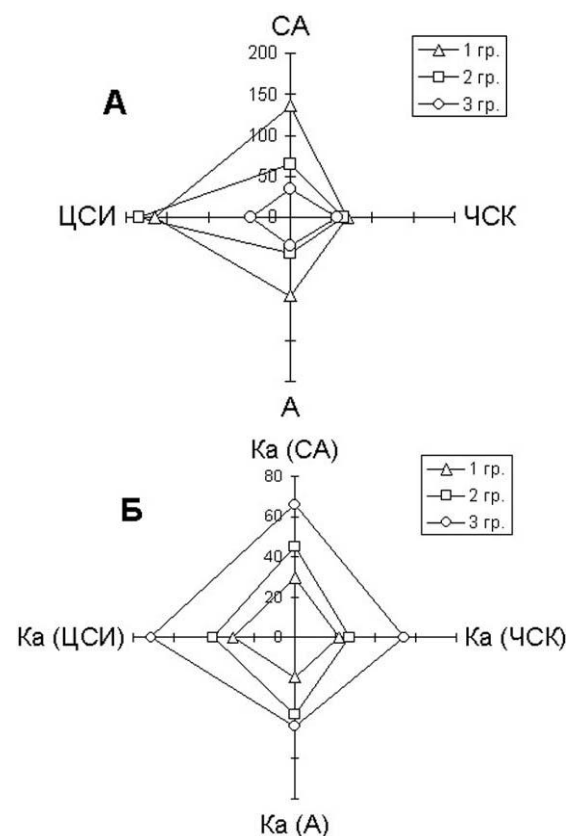


Рис. 1. Усредненные по всем отведениям ЭМГ-показатели (А) (в % от контрольных величин) и их коэффициенты асимметрии (Б), зарегистрированные у больных трех групп перед снятием аппарата наружной транспедикулярной фиксации позвоночника

Что касается величин цереброспинального индекса (ЦСИ), ранее использованного нами в диагностике и оценке эффективности лечения церебральных гемипарезов [13], то у больных 1-й и 2-й групп он оказался значительно выше контрольных величин, а у больных 3-й группы – существенно ниже.

Мы полагаем, что феномен превышения контрольных значений ЦСИ, регистрируемый в ранние (до оперативного вмешательства) и в последующие сроки после травмы связан с эффектом гиперсинхронизации разрядов двигательных единиц на фоне снижения М-ответа. Впоследствии к эффектам гиперсинхронизации разрядов двигательных единиц и дальнейшему снижению М-ответа, связанному с развитием денервационного синдрома, присоединяются электрофизиологические проявления т.н. «спраутинга» – коллатеральной реиннервации денервированных мышечных волокон со стороны интактных аксонов. Это явление достаточно типично для нейропатий, а также поражения части аксонов двигательных единиц корешко-

вой локализации, приводящих к образованию т.н. «гигантских двигательных единиц», характеризующихся высокoамплитудными потенциалами действия. В условиях произвольной активации потенциалы действия гигантских двигательных единиц формируют суммарную ЭМГ уреженного типа, но значительно большей СА, чем до травмы. На основании этих соображений следует ожидать появления наиболее высоких значений ЦСИ у больных 2-й группы, что вполне согласуется с приведенными в настоящей работе данными. У больных 3-й группы пропорции в посттравматическом снижении произвольной ЭМГ и М-ответа либо сохранены, либо нарушены в направлении преобладающего нарушения генерации произвольной активности (СА суммарной ЭМГ). Последнее с учетом давности и локализации травмы может рассматриваться как следствие поражения кортикоспинальных трактов и (или) деафферентации конечности.

Таким образом, ЦСИ можно рассматривать,

с одной стороны, в качестве критерия сохранности пирамидных трактов, с другой – показателя, характеризующего развитие компенсаторно-репаративных процессов в сегментарных структурах и частично денервированных мышцах.

Приведенные данные подтверждают целесообразность разработки системы градуального шкалирования показателей функциональной дееспособности мышц нижних конечностей, основанной на использовании предложенного в настоящей работе комплекса взаимодополняющих нейрофизиологических тестов. Конечным результатом этой работы является построение экспертной системы, ориентированной на прогнозирование уровня восстановления локомоторной функции у пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы и выработку рекомендаций по применению специализированных реабилитационных технологий, адекватных текущему состоянию моторной иннервации мышц нижних конечностей [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Базилевская З.В. Закрытые повреждения позвоночника. - М.: Медицина, 1962. - 119 с.
2. Байкушев Ст., Манович З.Х., Новикова В.П. Стимуляционная электромиография и электронейрография в клинике нервных болезней. - М.: Медицина, 1974. - 143 с.
3. Значение электромиографических исследований в диагностике, лечении и реабилитации больных с осложненной травмой позвоночника / И. Воронович, О.И. Шалатонина, И.А. Ильясевич, Л.А. Новожилова // Ортопед. травматол. - 1991. - № 5. - С. 4-10.
4. Камалов И.И. Заболевания и травмы позвоночника. - Казань: Татарское книжное изд-во, 1992. - 144 с.
5. Карепов Г.В. ЛФК и физиотерапия в системе реабилитации больных с травматической болезнью спинного мозга. - Киев: Здоровья, 1991. - 1991 с.
6. Коган О.Г. Реабилитация больных при травмах позвоночника и спинного мозга. - М.: Медицина, 1975. - 238 с.
7. Нейрофизиологические аспекты реактивности и резистентности спинномозговых структур у больных с закрытыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника / А.П. Шейн, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева, С.В. Люлин // Вестник РАМН. - 2000. - № 2. - С. 35-41.
8. Особенности оперативных вмешательств у больных с компрессией спинного мозга и корешков конского хвоста при переломах позвоночника в грудном и поясничном отделах / В.И. Шевцов, А.Т. Худяев, С.В. Люлин, П.И. Коваленко // Нейрохирургия. - 2000. - № 4. - С. 34-37.
9. Приборы и методы электростимуляции в комплексной реабилитации больных со свежей и застарелой травмой позвоночника и спинного мозга / В.И. Шевцов, А.П. Шейн, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева // Человек и его здоровье: Материалы конгресса. - СПб., 2001. - С. 111-112.
10. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. - М.: Изд-во НППЦ – «Стимул»; Иваново, 1996. - 344 с.
11. Смирнов В.М., Шандурина А.Н. Система «схема тела» и сенсорная организация движений // Сенсорная организация движений. - Л.: Наука, 1975. - С. 189-195.
12. Шендерова Е.А. Тяжесть повреждения спинного мозга в зависимости от характера и уровня повреждения позвоночного канала // Травма позвоночника и спинного мозга (опасности, ошибки, осложнения): Материалы симпозиума. - Новокузнецк, 1994. - С. 125-128.
13. Электронейромиография в диагностике и оценке эффективности лечения больных со спастическими гемипарезами / В.И. Шевцов, Г.А. Криворучко, А.П. Шейн, А.Н. Дьячков // Гений ортопедии. - 2000. - № 1. - С. 46-56.
14. Automatic analysis of surface EMG (preliminary findings in healthy subjects and in patients with neurogenic motor diseases) / R. Cioni, C. Paradiso, N. Battistini et al. // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. - 1985. - Vol. 61, N 4. - P. 243-246.
15. Chapman J.R., Anderson P.A. Thoracolumbar spine fractures with neurologic deficit // Orthop. Clin. North Am. - 1994. - Vol. 25, No 4. - P. 595-612.
16. Characteristics of EMG responses to imposed limb displacement in patients with vascular hemiplegia / M.C. Verrier, W.G. Tatton, R.D. Blair, J. Can // Neurol. Sci. - 1984. - Vol. 11, N 2. - P. 288-296.
17. Criscitello A., Fredrickson B. Thoracolumbar spine injuries // Orthopaedics. - 1997. - Vol. 20, N 10. - P. 939-944.
18. Yashon D. Spinal injury. - Norwalk, 1986. - 253 p.

Рукопись поступила 30.10.02.